

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА НЕПРЕРЫВНОМ СТАНЕ

Райимкулов С.Х., Сайдумаров Б.М., Хасанов К.А., Фардаев Ж.Н.

Ташкентский государственный технический университет им. И.А. Каримова, г. Ташкент

### Abstract

Одним из современных направлений совершенствования процессов производства проката является создание литейно-прокатных комплексов (ЛПК), совмещающих в себе процесс разливки заготовок и их дальнейшую прокатку в одном цеху.

В статье рассмотрен процесс горячей прокатки на широкополосном стане (ШПС) в составе ЛПК. Приведены результаты расчета температуры раската в межклетевых промежутках. Графически представлены результаты моделирования прокатки и их сравнение с данными, полученными расчетным способом.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 6 Dec 2022

Revised form 5 Jan 2023

Accepted 8 Feb 2023

**Ключевые слова:** прокатка, горячий прокат, расчет температуры, моделирование проката.

© 2023 Hosting by Central Asian Studies. All rights reserved.

\*\*\*

### Технологическая схема ЛПК

Современные ЛПК включают в себя такие участки как машина непрерывного литья заготовок, промежуточные и отводящие рольганги, подогревательные печи и основное оборудование получения продукта - прокатные группы клетей.

На рисунке 1 приведена схема рассматриваемого полосового ЛПК.

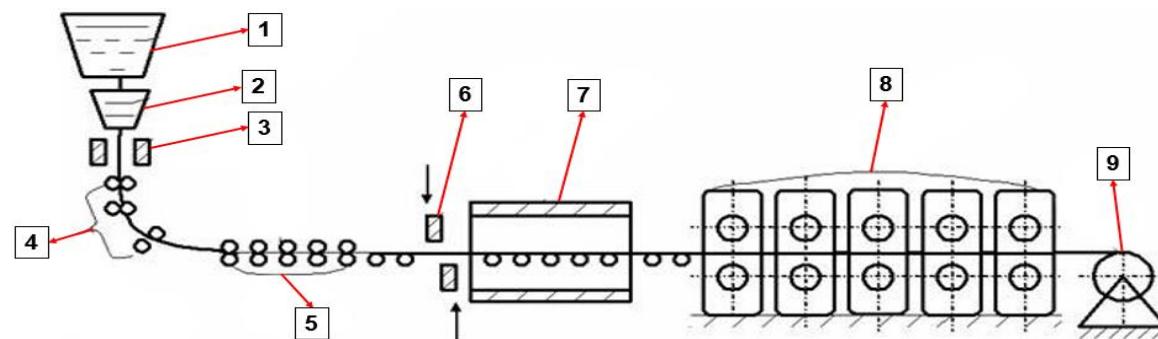


Рисунок 1 – Технологическая схема полосового ЛПК: 1 – стальковш; 2 – промковш; 3 – кристаллизатор; 4 – вторичное охлаждение; 5 – тянуще-правильная машина; 6 – режущее устройство; 7 – проходная нагревательная печь; 8 – прокатный стан; 9 – моталка

Обжатие заготовки в таком совмещении процесса приводит к повышению их качества и структуры. Такие комплексы снижают себестоимость за счет повышения выхода годного и сокращения расходов на передел.

### Расчет температуры проката

Для исследования рассматривается прокатка полосы на компактном ЛПК типа CSP. Данная технология состоит только из чистовых пяти клетей. Заготовкой для проката является сляб, отлитый на тонкослябовой машине непрерывного литья заготовок. Для расчета и моделирования была выбрана заготовка (сляб) толщиной 60 мм и шириной 1300 мм. Профиль готового проката: 8x1300 мм.

Процесс перемещения и прокатки металла на стане сопровождается различными видами теплообмена:

- 1) излучение
- 2) конвективный теплообмен
- 3) теплообмен в очаге деформации, то есть с рабочими валками

При входе в первую прокатную клеть с помощью установки гидросбива с поверхности металла удаляется окалина, которая образовалась при взаимодействии с воздухом. Данный процесс сопровождается охлаждением полосы.

Температура подачи исходной заготовки в прокатный стан равна 1100 °C.

При контакте металла с валками происходит передача тепла на валки, а также тепловыделение от работы пластической деформации и работы сил трения в зоне контакта раската с валками.

Для расчета изменения температуры металла за счет излучения была использована формула Г. П. Иванцова:

$$\Delta t_{изл} = T_0 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{(T_0/100)^3} + \frac{\tau}{h} \cdot 0,055}},$$

где  $T_0$  – температура начала прокатки, К;

$\tau$  – время охлаждения, с;

$h$  – толщина проката в рассматриваемом промежутке охлаждения, мм.

Использованная формула для расчета изменения температуры за счет передачи тепла валкам в очаге деформации выглядит следующим образом:

$$\Delta t_{пер.в валки i} = \frac{4,87}{h_{i-1} + h_i} \cdot (t_i - t_b) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot l_d \cdot h_0}{10^3 (h_0 + h_1) \cdot v_n}},$$

где  $l_d$  – длина очага деформации, м;

$t_b$  – температура валков, °C. Примем  $t_b = 50$  °C;

$v_n$  – скорость прокатки в проходе, м/с;

$t_i$  – температура начала прокатки в  $i$ -ой клети, °C;

$h_{i-1}$  – толщина металла перед проходом, мм,

$h_i$  – толщина металла после прохода, мм.

Изменение температуры за счет работы пластической деформации  $i$ -ой клети,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta t_{\text{раб.деф } i} = \frac{1325 - t_0}{8,35} \cdot \left( 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{l_d}{h_{\text{cp}}} - 1 \right) \right) \cdot \lg \frac{h_0}{h_1},$$

где  $t_0$  – температура после потерь тепла излучением,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$h_{\text{cp}}$  – средняя толщина металла в очаге деформации, мм.

### Моделирование продольной прокатки

Моделирование сборки производилось в программе SolidWorks, а далее была импортирована в QForm. Для создания сборки были смоделированы заготовка и прокатные валки. Как и в расчете, для моделирования была выбрана заготовка 60x1300 мм, профиль которой изображен на рисунке 2, а. Модель прокатного валка как изображена на рисунке 2, б.

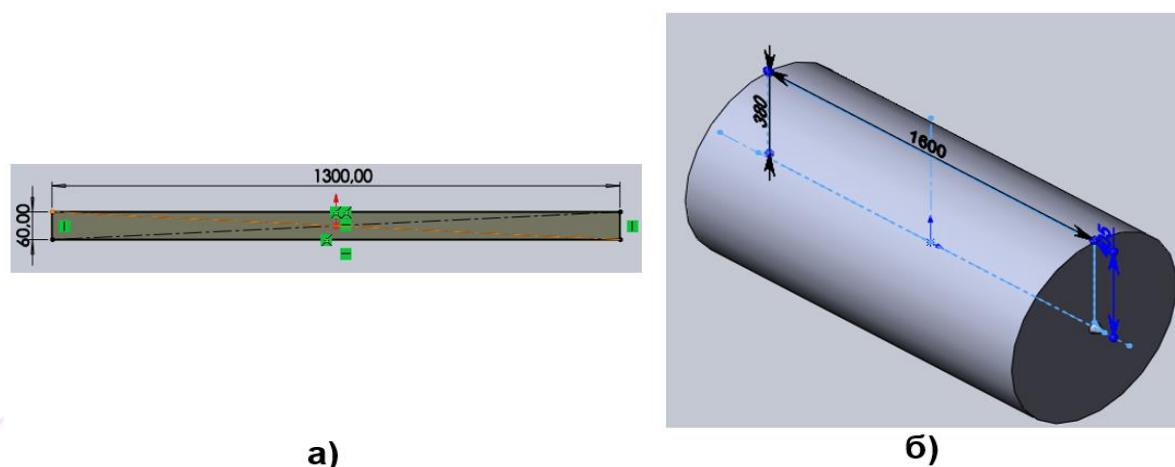


Рисунок 2 – Профиль заготовки и модель рабочего валка

Следует отметить, что первые три клети имеют валки с диаметром 760 мм, а последние две клети – 630 мм.

Далее созданные детали были объединены в сборку прокатной линии, состоящая из 5 клетей (см. рисунок 3). При этом расстояние между клетями 1,5 м, а по техническим значениям это расстояние равняется 5,5 м. Сокращенное расстояние на температуру повлияет незначительным образом. Такой подход существенно сократит время машинного расчета при моделировании.

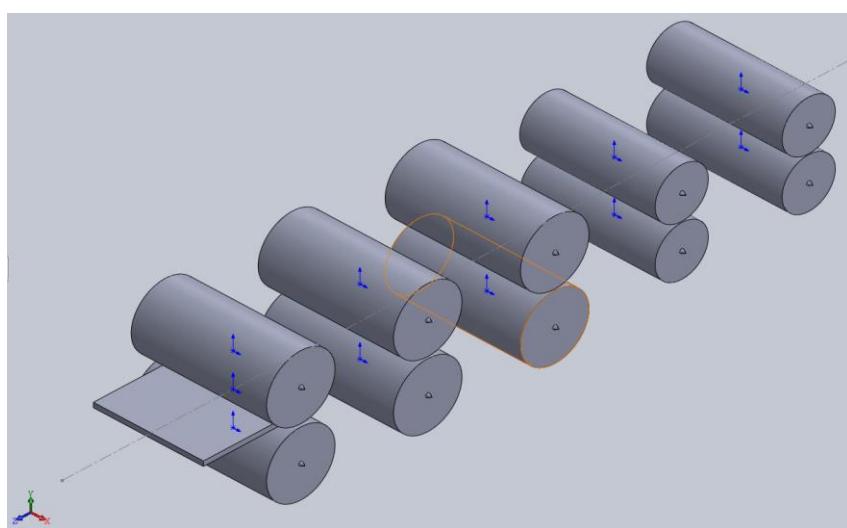


Рисунок 3 – Сборка прокатной линии в SolidWorks

Созданная сборка была импортирована в программу QForm (см. рисунки 4, 5), где были заданы различные параметры, которые требует программа. Вводимые значения необходимы для нормального протекания процесса, поэтому они берутся из технических данных или близкими к ним.

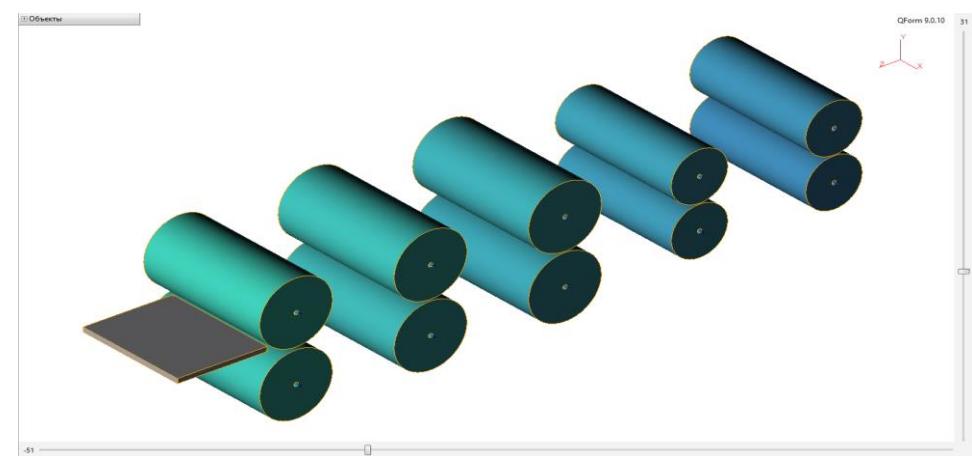


Рисунок 4 – Общий вид сборки прокатной линии в QForm

В QForm детали разделяются на инструменты (все валки) и заготовку (заготовка, толкателем и скорость). В таблице 1 приведены все заданные параметры для заготовки (сляба) и валков.

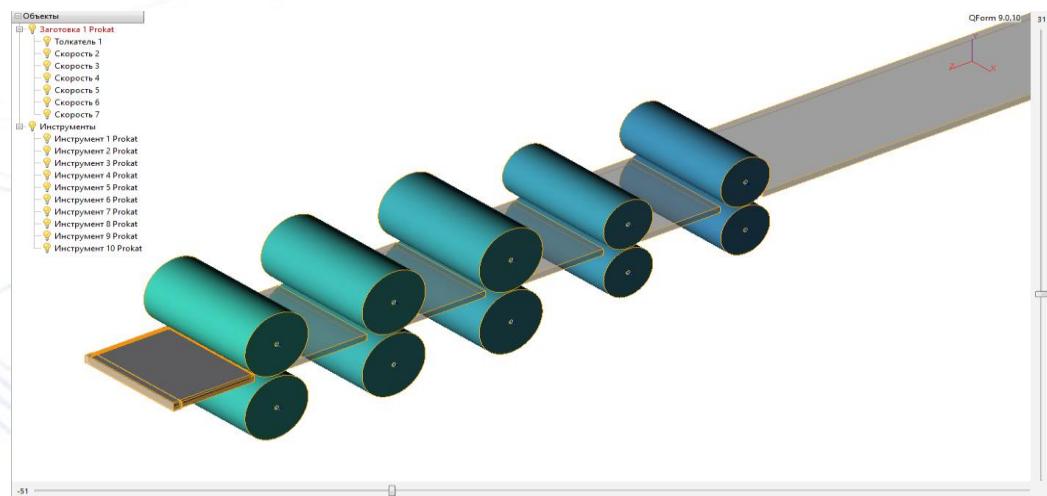


Рисунок 5 – Общий вид сборки с добавленными элементами «Толкатель» и «Скорость»

Таблица 1 – Начальные условия

	Материал	Начальная $t$ , °C	Скорость вращения, об/мин	Смазка
Заготовка	Сталь 20	1100	-	-
Клеть-1	40Х	50	25,23	Graphite+water
Клеть-2	40Х	50	38,43	Graphite+water
Клеть-3	40Х	50	66,73	Graphite+water
Клеть-4	40Х	50	146,12	Graphite+water
Клеть-5	40Х	50	190	Graphite+water

Для того же типоразмера прокатываемой полосы был произведен расчет всех режимов прокатки и энергосиловых параметров. Ниже приводятся сравнения различных расчетных параметров со значениями полученными моделированием при таких же условиях в QForm.

В таблице 2 приводятся значения относительных обжатий и скоростей прокатки по клетям, которые также были взяты как для расчета, так и для моделирования.

Таблица 2 – Результаты расчета деформационного режима.

Сляб 60x1300 мм → Полоса 8x1300 мм					
Значения параметров по клетям чистовой группы					
Параметр	F1	F2	F3	F4	F5
$\varepsilon, \%$	42	38	33	28	23,1
V, м/с	1,84	2,97	4,43	6,15	8

## Выводы

Сравнение распределения температур на выходе из каждой клети приведено на рисунке 6. Можно отметить, что температура при моделировании выше расчетной на 40 °C - 60 °C. Такую разницу можно объяснить тем, что при моделировании не учитываются такие факторы потери температуры, как теплопередача на рольганги, остывание металла при охлаждении валков, работа петледержателя. Но с другой стороны эти факторы не могут быть аргументом точности расчетной методики, так как приведенные формулы считаются эмпирическими. Метод конечных элементов, то есть метод моделирования процесса в современных условиях является наиболее перспективным, так как требует минимальное вмешательство работника, тем самым считается одним из направлений автоматизации прокатного производства. Также моделирование даёт возможность наглядного представления полученных данных в виде полностью смоделированных процессов, графиков, эпюров и т.д. Обобщая можно сделать вывод, что использование CAD/CAE систем для анализа процесса прокатки является эффективным.

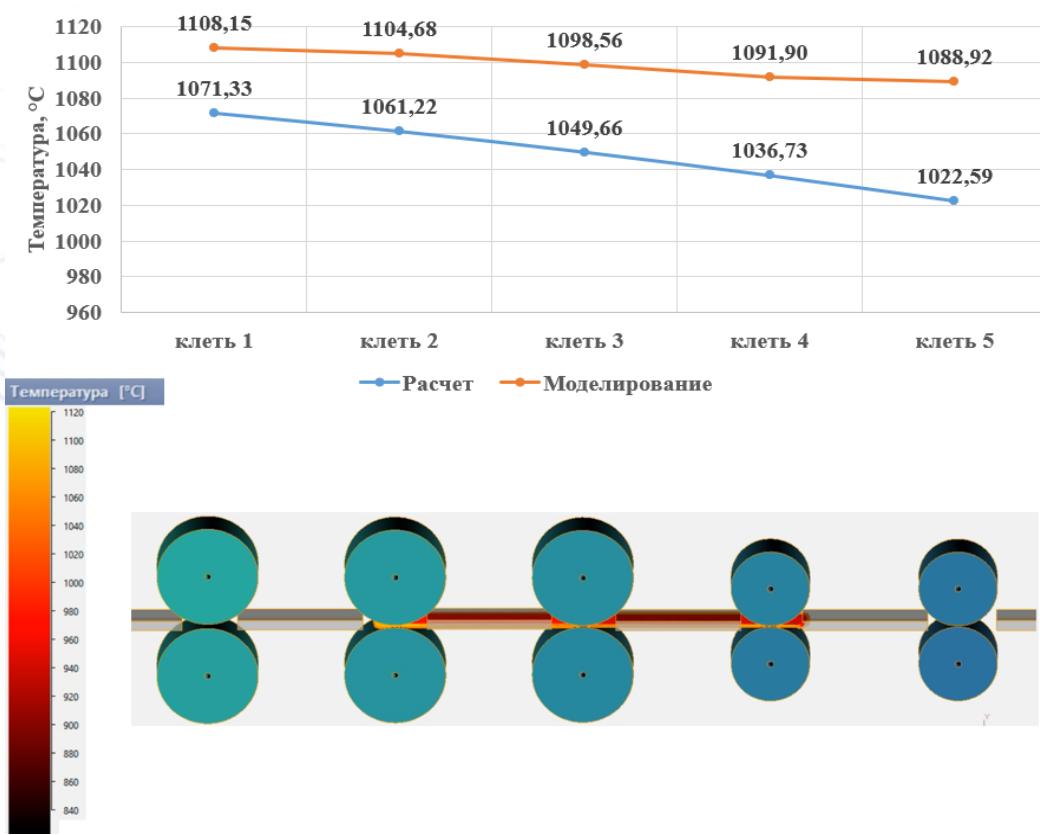


Рисунок 6 – График распределения температур по клетям

## Список литературы

1. B.M. Saydumarov. Prokat ishlab chiqarish texnologiyalari. Darslik. Toshkent 2022. 302 b.
2. B.M. Saydumarov. Prokatlash mashinalari va jihozlari. O‘quv qo‘llanma. Toshkent. 2020. 188 b.
3. Крискович С. М.; Скрипаленко, М. М.; Будников, А. С. Компьютерное моделирование технологических процессов ОМД. – МИСиС, 2019. – 146 с.

4. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика, Книга 1. Производство горячекатанных листов и полос. – М.: «Теплотехник», 2008. – 640 с.
5. Сивак Б.А. Технологические основы проектирования прокатных комплексов: Сортовые и полосовые литейно-прокатные агрегаты для металлургических мини- заводов: учебно-методическое пособие. – МИСиС, 2010.
6. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства. Учебное пособие. – СПб.: Наука, 2005. – 540 с.
7. Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.

